

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ СИСТЕМЫ СИНХРОННОГО ПУСКА СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНОГО КОМПЛЕКСА

**Г. П. ТАРИКОВ, Е. А. ХРАБРОВ, В. Н. ГАРБУЗ,
В. И. ШУЛИКОВ, Е. Н. ГЕРАСИМЕНКО**

*Учреждение образования» Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь*

Введение

В сейсмической разведке полезных ископаемых для получения качественного результата вибраторы собирают в группы, а сейсмические воздействия неоднократно повторяют – накапливают. При этом возникает необходимость одновременного срабатывания всех вибраторов в группе и синхронного с этими срабатываниями начала записи отраженных сигналов на регистрирующем оборудовании, – сейсмостанции.

Некоторые современные системы синхронного пуска в сейсморазведке базируются на системе глобального позиционирования (*Global Positioning System – GPS*). Так, в системе Интромарин-С используются сигналы точного времени, передаваемые спутниками глобальной системы навигации GPS, а по каналу радиосвязи передаются только численные значения времени начала процессов [1]. Полная зависимость системы синхронного пуска Интромарин-С от системы GPS может привести к снижению надежности синхронных пусков.

В материалах [2] описаны случаи отказов работы системы GPS при работающих в данном районе бытовых СВЧ-печах без экранирования их электромагнитного поля. Частота излучения СВЧ нагревателя печи близка к частоте, используемой в системе GPS, мощность нагревателя составляет 800–1000 ватт, а мощность принимаемого рабочего сигнала системы GPS порядка нескольких микроватт, поэтому даже небольшие нарушения экранирования электромагнитного поля излучателя СВЧ-печи может привести к отказам работы системы GPS.

В статье [3] описана экспериментальная проверка надежности системы GPS при воздействии на эту систему простого сигнала и сделан следующий вывод. «Из-за сильной зависимости от простейших организованных помех в виде расстроенной несущей использование GPS в ряде случаев окажется невозможным. Причем, в обоих (гражданском и военном) каналах. При этом для глушения ни гражданского, ни военного канала знать коды ФМ-сигналов не требуется».

Чаще всего для синхронизации сейсмостанции с отрядом вибраторов используют командные радиопередачи связи с шумоподобными сигналами пуска с большой избыточностью [4], [5]. Основной недостаток таких систем синхронизации заключается в их плохой защищенности от ложного приема сигнала пуска. Так, комплекс аппаратуры, состоящей из блока управления сейсмического вибратора БУСВ и генератора синхронизирующего ГС имеет вероятность p_L ложного приема сигнала пуска примерно 10^{-9} . Это значит, что при 8-часовом рабочем дне и при длительности символа принимаемой псевдослучайной последовательности $T_c = 1$ мс, ложный прием сигнала пуска одним источником сейсмических сигналов может происходить в среднем через 1118 дней.

Постановка задачи

Надежность систем синхронного пуска вибрационных источников сейсмических сигналов в основном зависит, как показано в [6], от двух параметров: вероятности

неприема сигнала пуска и вероятности p_L ложного приема сигнала пуска в момент, когда никакого сигнала пуска нет в радиоканале. Если один из группы, например, из 5 вибраторов, не примет пусковой сигнал (неприем), то величина формируемого сейсмического сигнала уменьшится на 20 % и больших потерь не будет. А при ложном срабатывании одного из группы вибраторов его сейсмический сигнал создаст на сейсмическом разрезе ложные отражающие горизонты, которые могут привести к дезинформации геофизиков и даже к бурению непродуктивных скважин.

Задачей работы является снижение вероятности ложного срабатывания систем синхронизации, что позволит повысить надёжность сейсмических вибраторов, сделать их более эффективными и безопасными в работе.

Решение задачи

Для повышения надежности системы синхронного пуска предлагается ввести в сейсморазведочный комплекс таймеры, которые обеспечивают уменьшение вероятности ложного пуска каждого вибратора, а также использовать комбинированные декодеры [7], обладающие повышенной надежностью.

Структурная схема сейсморазведочного комплекса представлена в виде, показанном на рис. 1. На сейсмостанции имеется формирователь кодированного сигнала пуска вибраторов – кодер $1с$, который по команде таймера $10с$ сейсмостанции в нужный момент запускает на сейсмостанции внутренний генератор $3с$ копии вибрационного сигнала.

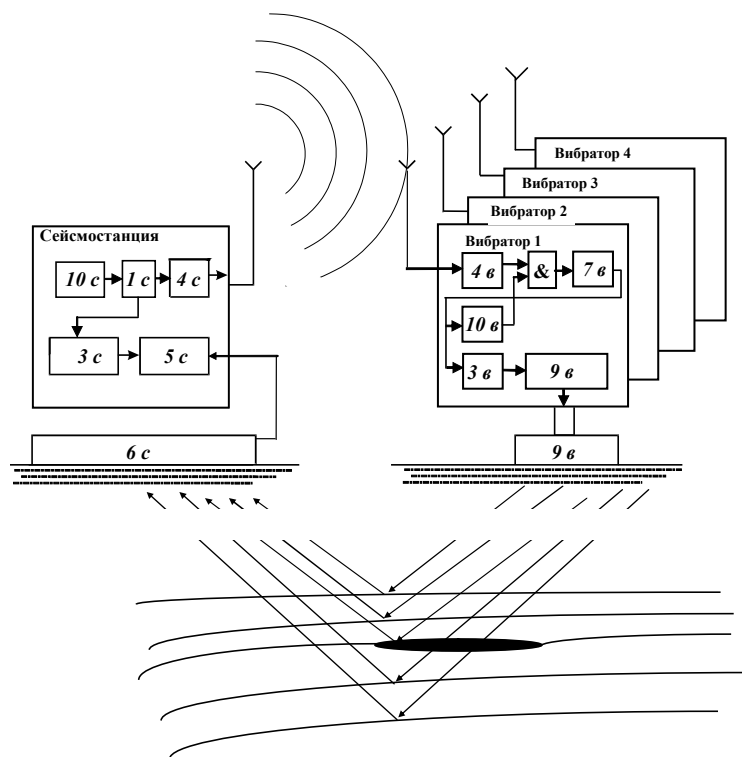


Рис. 1. Сейсморазведочный комплекс, в котором: $1с$ – кодер; $3с, 3в$ – генераторы копии вибрационного сигнала; $4с, 4в$ – радиостанции; $5с$ – записывающая аппаратура; $6с$ – сейсмоприемники; $7в$ – декодер; $8в$ – электрогидравлический возбудитель вибрации; $9в$ – опорная плита вибратора; $10с, 10в$ – таймеры

Эта копия вибрационного сигнала записывается на магнитную ленту в регистраторе $5с$ вместе с главной информацией сейсморазведочного комплекса – с принятыми сейсмоприемниками $6с$ отраженными сейсмическими сигналами. Кодированный сигнал пуска по радиоканалу через передатчик $4с$, установленный на сейсмостанции и приемники $4в$, стоящие на вибраторах, поступает для распознавания в декодеры $7в$.

Структурная схема предложенного в [7] декодирующего устройства, реализующего комбинированный принцип приема, приведена на рис. 2.

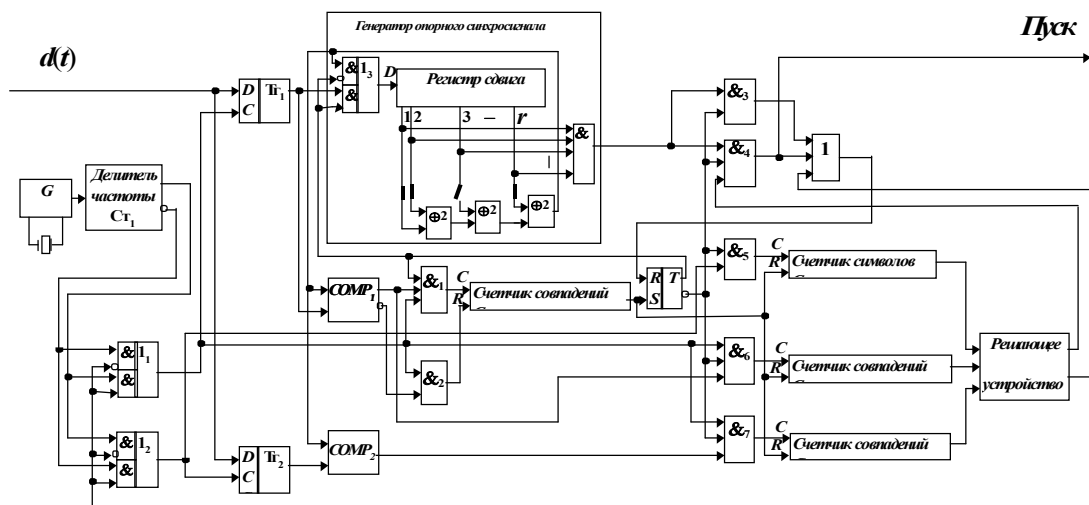


Рис. 2. Структурная схема комбинированного декодера

Как и в захватном принципе приема, описанном в [6], здесь, если все r разрядов регистра сдвига будут заполнены «правильными» символами сигнала $d(t)$ синхронного запуска, то с выхода обратной связи регистра сдвига, с последнего его сумматора по модулю 2, в соответствии со свойствами M -последовательностей, будут формироваться такие же символы, т. е. совпадающие с символами основной реализации входного сигнала $d_1(t)$ синхронного запуска.

Совпадение символов с выхода обратной связи регистра сдвига с символами основной реализации входного сигнала $d_1(t)$ синхронного запуска проверяется компаратором $COMP_1$. Если в декодируемой основной реализации входного сигнала $d_1(t)$ синхронного запуска нет искаженных символов, то с неинвертирующего выхода компаратора $COMP_1$ подается разрешение на схему $\&_1$, которая пропускает через себя тактовые импульсы основной частоты на C вход счетчика совпадений $Ст_2$.

Если же в декодируемой основной реализации входного сигнала $d_1(t)$ синхронного запуска появится хоть один искаженный символ, то компаратор $COMP_1$ не только не дает разрешение на схему $\&_1$, но и, разрешая своим инвертирующим выходом работу схемы $\&_2$, обеспечивает прохождение тактовых импульсов основной частоты на R вход сброса счетчика совпадений $Ст_2$. После этого счет подряд идущих совпадений начинается сначала.

В случае набора в $Ст_2$ порогового числа k_1 подряд совпадающих символов, на выходе этого счетчика $Ст_2$ вырабатывается сигнал, поступающий на S вход управляющего RS -триггера $Тг_3$, и на R входы сброса счетчиков совпадений $Ст_4$, $Ст_5$, и Счетчика символов $Ст_3$.

После этого триггер $Тг_3$ перебрасывается в противоположное состояние, и тогда на схему $\&_1$ подается запрет, а на схемы $\&_3...&_7$ – разрешение. При этом через мультиплексор MUX_3 (схему 2И – 2ИЛИ₃, 2& – 2И₃) замыкается обратная связь регистра сдвига с сумматорами по модулю 2.

В результате этого регистр сдвига начинает сам генерировать M -последовательность, являющуюся продолжением только что принятого ее фрагмента, что позволяет производить проверку оставшейся части принимаемого входного сигнала $d(t)$ синхронного запуска, т. е. входной M -последовательности.

Тактовые импульсы, соответствующие принимаемым символам, проходя через открытую схему $\&_5$, поступают на вход C счетчика символов $Ст_3$. Когда число тактовых импульсов, попавших в $Ст_3$, достигнет определенного числа n , с его выхода на вход

решающего устройства РУ подается сигнал на проверку достижения $Ст_4$ и $Ст_5$ заданного порога k_2 .

Если из n символов в каком-либо из $Ст_4$ или $Ст_5$ (или в обоих) наберется число совпадений равное порогу k_2 , то РУ подаст разрешение на прохождение через схему &4 импульса с выхода r – входовой схемы & генератора опорного синхросигнала.

Если же из n символов ни в одном из $Ст_4$ или $Ст_5$ не наберется числа совпадений, достигающего порогового значения k_2 , то РУ вырабатывает сигнал, который как и импульс ПУСК, пройдя через трехвходовую схему ЗИЛИ (31), поступает на R вход $Tг_3$ и переводит его в исходное состояние, при котором декодер сможет вновь попытаться принять данный сигнал синхронного запуска, как это описано выше.

Вероятность p_L ложного срабатывания здесь будет определяться двумя величинами: вероятностью p_{LZ} ложного «захвата» генератором опорного синхросигнала и вероятностью p_{LC} неправильной контрольной проверки с помощью РУ в отсутствие сигнала синхронного запуска на входе декодера (ложный контроль):

$$p_L = p_{LZ} \cdot p_{LC}. \quad (1)$$

Вероятность p_{LZ} ложного «захвата» генератора опорного синхросигнала определяется также, как и при захватном принципе приема:

$$p_{LZ} = 0,5^{r+k_3} (2^r - r - k_3 - n_2), \quad (2)$$

где k_3 – порог срабатывания счетчика совпадений схемы захвата комбинированного декодера; n_2 – число символов, используемых для его контрольной проверки.

Вероятность p_{LC} неправильной контрольной проверки с помощью решающего устройства (РУ) можно найти с помощью формулы:

$$p_{LC} = \sum_{i=k_4}^{n_2} C_{n_2}^i \cdot 0,5^{n_2}, \quad (3)$$

где k_4 – порог срабатывания счетчика совпадений схемы контрольной проверки комбинированного декодера.

Как показано выше, для уменьшения вероятности ложного приема предлагается в блоки управления сейсмическими вибраторами и в генератор синхронизирующий, устанавливаемый на сейсмостанции, ввести цифровые программируемые таймеры, причем таймеры, устанавливаемые на вибраторах, должны формировать временные окна на интервалы времени, в течение которых должны приходиться от сейсмостанции шумоподобные сигналы пуска. Высокой стабильности частоты тактовых генераторов в данном случае не требуется, поскольку синхронность срабатывания всех сейсмических источников в отряде и сейсмостанции будет определяться, как и в [4], [5] только несинхронностью приема шумоподобного сигнала пуска.

Оценим эффективность предлагаемого метода. Если сигнал синхронизации передается в каждый выделенный для этого промежуток, то ложных срабатываний происходить не будет. Рассмотрим наиболее худший случай, когда сигнал синхронизации с сейсмостанции не передается, а сейсмические источники находятся в режиме приёма. При этом вероятность ложного срабатывания можно оценить по формуле (1). С учетом того, что приём осуществляется только в специально выделенные временные интервалы, вероятность P_{LT} ложного приема с использованием таймеров будет определяться следующим образом:

$$P_{LT} = \frac{P_L \cdot (T_{SIGNAL} + 2T_{RESERV})}{T_{CICL}}, \quad (4)$$

где P_L – вероятность ложного приема при захватном декодировании сигнала пуска; T_{RESERV} – дополнительный, резервный отрезок времени, формируемый перед началом и после окончания сигнала пуска; T_{CICL} – продолжительность цикла повторения сейсмических воздействий; T_{SIGNAL} – продолжительность шумоподобного сигнала пуска.

Как видим, использование таймеров в декодерах даёт значительное снижение вероятности их ложного срабатывания. Так, для случая, рассмотренного выше, вероятность ложного срабатывания даже в наихудшем случае эксплуатации вибраторов согласно формуле (5) в 25 раз меньше, чем при эксплуатации вибраторов без предложенных доработок.

После приема каждого шумоподобного сигнала пуска дополнительно предлагается подстраивать все таймеры на вибраторах для того, чтобы устранить набежавшую в них временную ошибку. Тогда относительную нестабильность всех таймеров, в том числе и установленного на сейсмостанции, можно допустить еще большей, а именно для нашего примера она может быть $3,4 \cdot 10^{-3}$.

Эксперимент

Поскольку физическое моделирование процесса, в котором анализируемое событие ложного захвата происходит в среднем раз в несколько лет, сделать невозможно, то была разработана специализированная программа *RANDEC* [8], обеспечивающая генерацию шумоподобного сигнала и программную модель функционирования узлов обработки пусковой псевдослучайной последовательности, и проведено компьютерное моделирование с использованием этой программы. Это позволило примерно в 10^5 раз ускорить анализ и получить данные, приведенные на рис. 2.

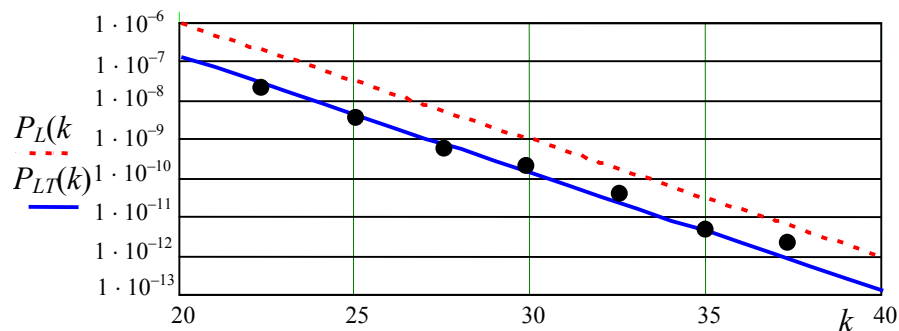


Рис. 2. Графики зависимостей вероятности ложного пуска сеймовибраторов:
 - - - - при отсутствии таймеров $P_L(k)$; — при наличии таймеров $P_{LT}(k)$;
 ● ● ● – точки, полученные экспериментально при компьютерном моделировании

Сравнение результатов эксперимента с расчетными значениями показывает, что их различие не превысило 3 дБ, что можно считать допустимым.

Выводы

Ложное срабатывание сейсмического вибратора, вызванное совпадением отсчетов принимаемого шумового сигнала и эталонной псевдослучайной последовательности, может привести к значительным материальным затратам и быть опасным для здоровья и даже жизни людей. Введение таймеров в широко распространенные системы синхронного пуска позволяет существенно уменьшить вероятность ложного срабатывания этих систем и тем самым повышает надежность работы сейморазведочного комплекса, практически устраняя аварийные ситуации, возникающие при ложных пусках сейсмических вибраторов. Введение же в конструкцию приёмника контура подстройки таймеров после

приёма сигнала синхронного пуска позволяет существенно упростить требования к точности и при этом повысить надёжность работы системы.

Так, например, при типовых условиях, описанных выше, ложное срабатывание в среднем может происходить приблизительно раз в 3 года, а в системе синхронизации с применением таймеров ложное срабатывание при наихудших, с точки зрения рассматриваемого метода, условиях эксплуатации сейсморазведочного комплекса может произойти раз в 76,5 года. Таким образом, даже при неблагоприятных условиях эксплуатации сейсморазведочного комплекса с использованием рассмотренного в статье метода ложные срабатывания в течение типового срока службы 5 лет практически исключаются.

Литература

1. Система синхронизации Интромарин-С. <http://www.intromarin.ru/>, 22.09.2006.
2. Американское высокотехнологичное оружие направлено на Россию В. В. Кашинов. RuWeb_Info – Белый Мир.
3. Экспериментальная проверка помехозащищенности американской спутниковой навигационной системы GPS. М. П. Иванов, В. В. Кашинов. <mailto:info@laboratory.ru>
4. Пат. 3891963 США, МКИ G 01 v 1/14. Кодовое устройство взрывания по радио. / Herbert C. В. (США); Exxon Production Research Co. – № 407531; заявл. 23.10.73; опубл. 24.06.75, НКИ 340/15,5. – 4 с.
5. А. с. 913298 СССР, МКИ³ G 01 v 1/04. Устройство синхронизации источников сейсмических сигналов / В. А. Пантелеев, Е. А. Храбров, А. Г. Слободов, А. С. Быков и Н. М. Кобин (СССР). – № 2949867/18–25 02; опубл. 15.03.82, Бюл. № 10 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 10. – С. 106.
6. Тепляков, И. М. Радиолинии космических систем передачи информации / И. М. Тепляков. – Москва : Советское радио, 1975.
7. А. с. 949577 СССР. МКИЗ G 01 v 1/04. Устройство управления источником сейсмических волн / А. С. Шагинян, А. Г. Асан–Джалалов, В. А. Пантелеев, Е. А. Храбров, Н. И. Давиденко, В. Н. Кабишев (СССР).– № 2669035/18–25; заявл. 28.09.78; опубл. 07.08.82, Бюл. № 29 // Открытия. Изобретения. – 1982. – № 29. – С. 92.
8. Программа RANDEC. В. Н. Гарбуз. <http://sciencesignalproblem.tut.by>, 22.09.2006.

Получено 04.12.2006 г.